

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 化學科

佳作

040211

自製濃度觀測工具及其在高中化學實驗的應用

學校名稱：臺北市立大直高級中學

作者： 高二 沈冠宇 高二 彭裕文 高二 楊富雄 高二 高維鴻	指導老師： 鄭兆珍 陳煌仁
---	---------------------

關鍵詞：光敏電阻、酸鹼滴定、平衡常數測定

壹、摘要

在高中的化學實驗中，有許多實驗設計是以肉眼觀察，常因個人辨識力的差別產生誤差。本實驗利用光敏電阻，連結數位電表與電源，自行製作了一個觀察溶液濃度的裝置，應用在許多高中化學實驗上：(一)化學反應速率實驗，以自製的濃度測量工具，測量硫沉澱一定量所經過的時間，可輕易判斷出反應速率與硫代硫酸鈉的濃度成一級反應、與鹽酸濃度成零級反應；(二)酸鹼滴定實驗，當溶液變色的時候，自製濃度觀測工具的電流會有明顯變化，以電腦紀錄反應過程，繪出電流－時間關係圖，當電流迅速下降時，即為滴定終點。依此方式可以讓機器自動滴定，不必擔心滴定過量的問題；(三)氧化還原滴定實驗，如同前述的酸鹼滴定，依電流讀值發生明顯變化時判斷滴定終點，未來可以應用在設計自動滴定計；(四)平衡常數的測定實驗($\text{Fe}^{3+} + \text{SCN}^- \rightleftharpoons \text{FeSCN}^{2+}$)，當溶液的透光度相等時，觀測到的電流值應該也會相等，由機器判讀的結果使得實驗結果的精確度提高甚多。

貳、研究動機

在進行高中龍騰版選修化學上冊「平衡常數的測定」這項實驗時，所使用的濃度測量方式是使用比色法，用目測的方式進行比色判定濃度，由於每個人對顏色的感覺不同，往往在實驗的結果上造成很大的誤差。而另外一個龍騰版物質科學化學實驗「反應速率的測定」，使用一個錐形瓶，內裝有硫代硫酸鈉與鹽酸，測定產物硫固體完全蓋住錐形瓶底下「十」字的時間，也是利用肉眼對著錐形瓶觀察，因此每個人看到的結果差異也非常大。因此激發我們想要設計一套工具，可以客觀的判定濃度的衝動。而濃度的判定除了使用大學的貴重儀器，紫外線光譜儀(UV)、原子吸收光譜儀(AA)以外，要在高中化學實驗室簡便測出濃度，只能使用酸鹼滴定或氧化還原滴定，但是滴定的過程冗長，中間的人為誤差也很大(超過終點)，如何在短時間內判定溶液的濃度或者濃度的變化，是一項很有趣的挑戰。

參、研究目的

濃度測量工具，是許多分析實驗不可缺少的設備，而濃度的量測除了需要注意結果的準確性以外，也必須有方便好用等條件，才能堪稱是好的工具。若使用肉眼來觀測濃度，會因每一個人辨色力不同，造成極為嚴重的誤差，若能藉助電子儀器來觀測濃度，便可以減少這種人為的誤差，提高測量結果的準確度與精密度。光敏電阻是一種隨處可以買到的電子小零件，這是一種受光照程度的不同會使得電阻值發生改變的器材，我們想利用這個特性，來製作一個觀測濃度的工具，並依此工具來改進高中化學當中，需要測量濃度的幾個實驗，希望增加實驗的方便性，並使結果更為準確。

本研究利用本校高中實驗室現有的設備，以及幾個光敏電阻，進行下列幾項研究：

- 一、製作簡易的濃度觀測工具。
- 二、利用自製的濃度測量工具改進高中化學實驗
 - (一)「化學反應速率的測定」實驗的應用
 - (二)「酸鹼滴定」實驗的應用
 - (三)「氧化還原滴定」實驗的應用
 - (四)「平衡常數的測定」實驗的應用

肆、研究設備及器材

一、儀器

電源供應器 (power supply)、光敏電阻 (Cds photoresistor)、三用電錶 (DCV)、數位電錶與電腦、電子天平 (electric balance)、檢流器 (galvanometer)、震盪器 (Oscillator)、精密天平(小數點後四位)、烘箱(Oven)、溫度計(thermometer)、磁石攪拌器(Magnetic stirrer)。

二、器材

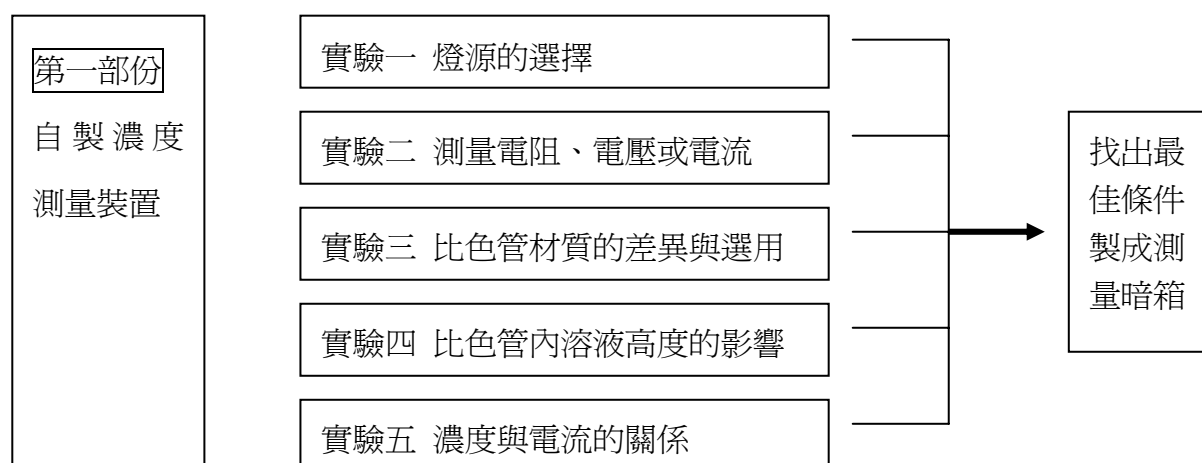
自製暗箱、鹵素燈泡、燒杯(50mL)數個、燒杯(250mL)一個、燒杯一個(500mL)、量筒(10mL)數支、量筒(25mL)數支、玻璃滴管數支、鐵架一組、試管架一個、高級比色管6支、刮勺數支、攪拌棒一支、黑布、尺、安全吸球、分度吸量管、玻璃片、碼錶。

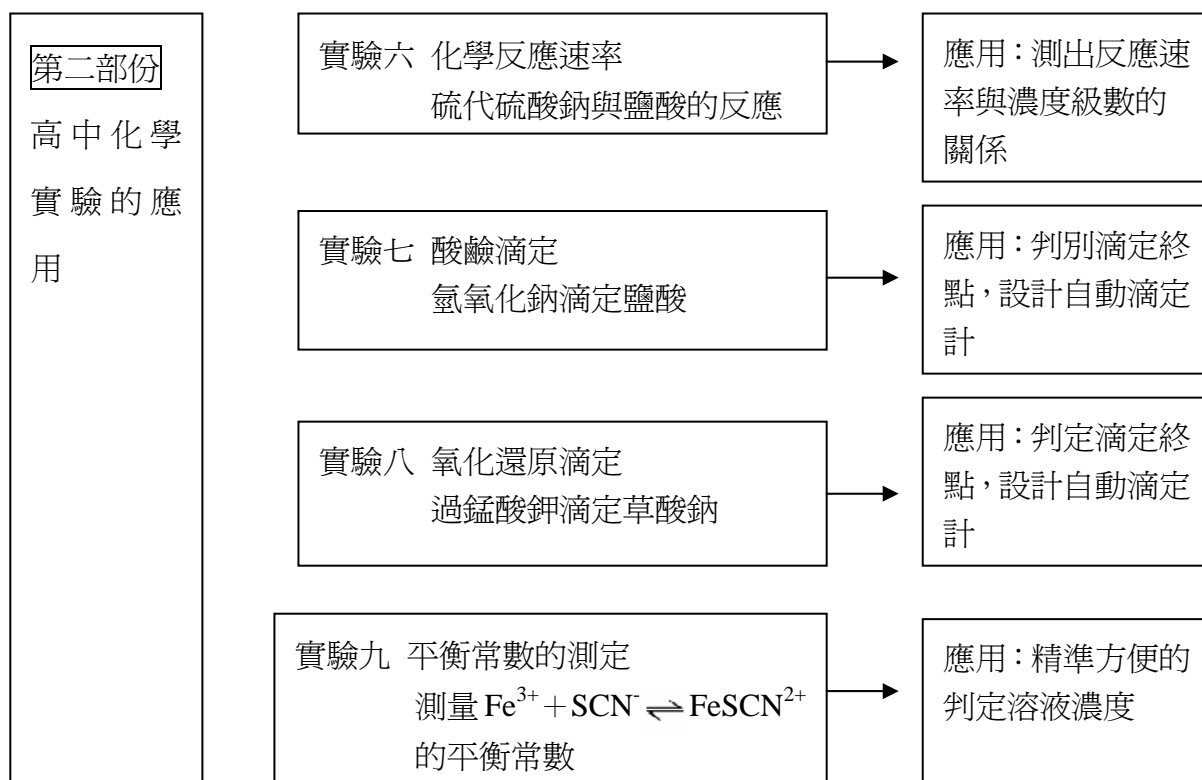
三、藥品

藥品名	數量	藥品名	數量
硝酸鐵 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$	1 瓶	硫氰化鉀 KSCN	1 瓶
硝酸鎳 $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$	1 瓶	氫氧化鎳 $\text{Ni}(\text{OH})_2$	1 瓶
硝酸銅 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	1 瓶	氯化亞鈷晶體 $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1 瓶
氧化銅 CuO	1 瓶		

伍、研究過程及方法

本研究使用光敏電阻、燈源、三用電錶、電源供應器等電子器材，先製作出一個可以測定濃度的暗箱，再利用這個裝置的特性，應用在幾個需要測量濃度的高中化學實驗上。實驗流程如下圖所示，實驗步驟與過程詳述如後：





光敏電阻是個對光極為敏感的零件，其特性為受光照強度愈強，電阻愈小，反之，則愈大。我們利用這個特性，在特製的暗箱當中，以固定燈源，比色管，光敏電阻來探測比色管中溶液的濃度。因為在這個暗箱當中，影響光敏電阻的變因很多，包括燈源(實驗一)、比色管的材質(實驗三)、比色管內溶液的高度(實驗四)、而且暗箱當中必須控制光源盡量通過溶液，而不能照射到其他裝置而反射照到光敏電阻，此外暗箱的內壁都要盡量塗黑避免光的反射。而光敏電阻與固定的電源串聯，因光照不同而會有不同的電流、電壓、電阻的現象(實驗二)，我們必須從中選擇一個最方便觀測的方式，來測量溶液的濃度與電流電壓電阻的關係(實驗五)，並探討不同的離子濃度與電流電壓電阻的關係是否相同，並依上述的實驗結果建立一套有效的濃度測量方式。

我們將使這套工具可以應用在高中化學實驗中。主要的原理是當觀測的電流發生明顯改變時，我們便可知道溶液的濃度發生明顯變化，而此時實驗所經過的時間，可以得知化學反應速率(實驗六)，而因為溶液濃度發生變化，使得光敏電阻的電流發生明顯變化，可以得知滴定達到終點(實驗七、實驗八)。我們從實驗五可以得知溶液的濃度與電流有特定的關係，因此只要測量某溶液的光敏電阻的電流值，我們便可以精準的判斷溶液的濃度，這種關係可以使平衡常數的測定(實驗九)的結果更為準確。

【實驗一：燈源的選擇】

- 一、目的：設計一個暗箱，探討各種燈泡的光源與光敏電阻電流、電阻、電壓的關係，並從中選擇最適合的光源。
- 二、器材與裝置：木板、螺絲、光敏電阻、墨汁、木條、鱷魚夾、三用電錶、小燈泡、鹵素燈、LED 燈、電源供應器。
- 三、步驟：
 - (一) 利用木板螺絲自製一個暗箱，並且將內壁塗黑。
 - (二) 將小燈泡、光敏電阻裝在同一個暗箱當中，如圖 5-1、圖 5-2。
 - (三) 將小燈泡與電源供應器串聯，另外將三用電錶與電池座、與光敏電阻串聯，三用電表調整到測量電流的位置。
 - (四) 固定連接光敏電阻電源供應器的電壓，逐漸調高小燈泡的電壓，紀錄此時三用電錶上的電流讀數。
 - (五) 繪製逐漸調高電源供應器電壓下，燈泡電壓與光敏電阻電流的關係。
 - (六) 重複以上步驟兩次，觀察結果是否相同。
 - (七) 將步驟(二)的小燈泡依序換成鹵素燈、LED 燈炮，重複(二)~(六)的步驟。

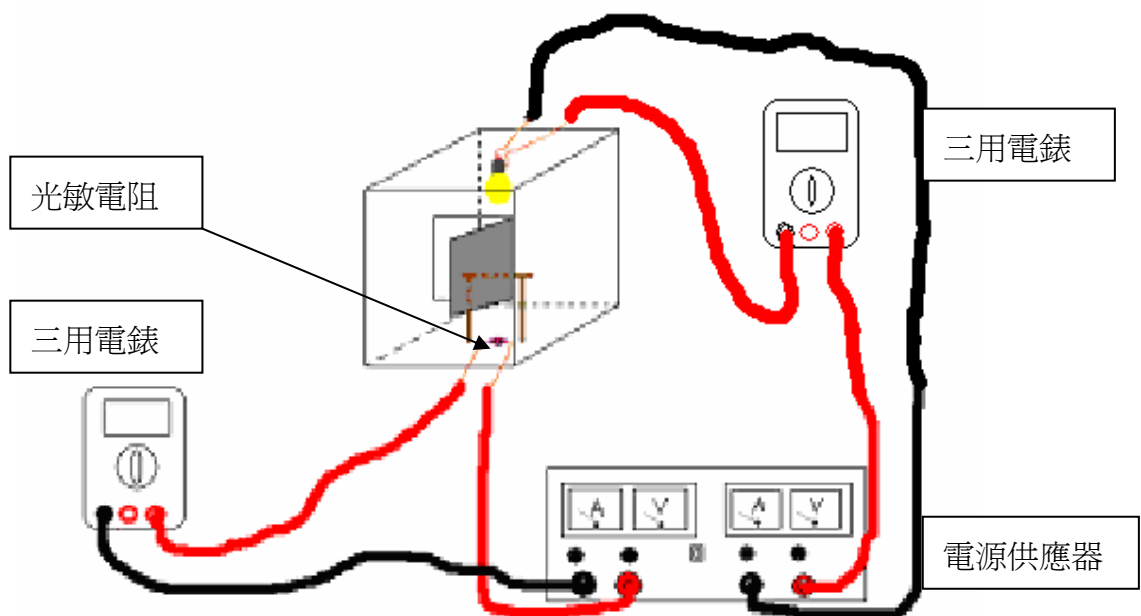


圖 5-1 自製實驗暗箱裝置圖

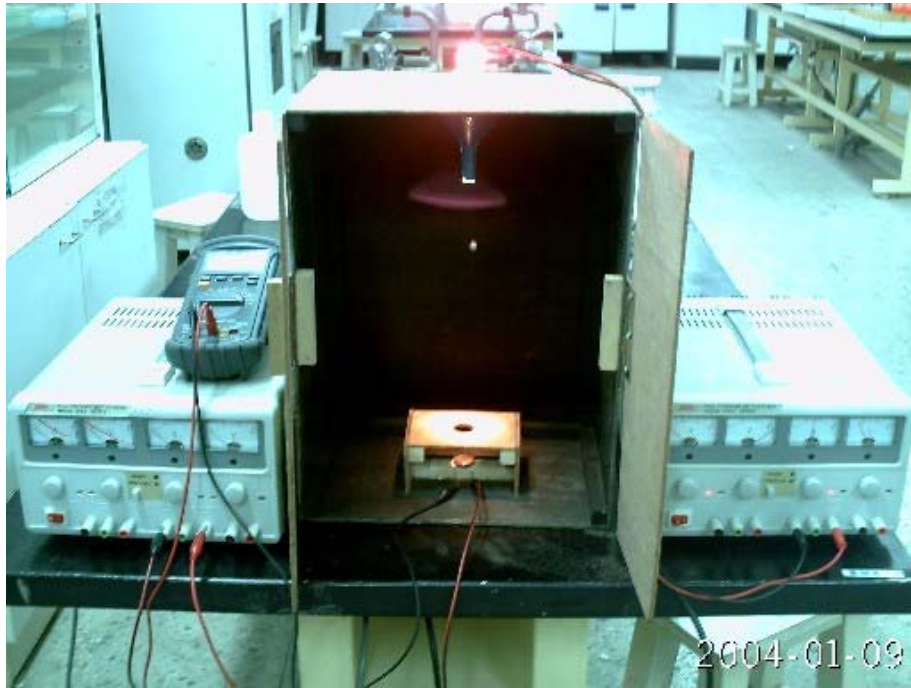


圖 5-2 自製實驗暗箱實體拍攝

【實驗二 測量電阻、電壓或電流】

- 一、目的：探討溶液濃度與光敏電阻的電壓、電流與電阻的關係
- 二、裝置：如圖 5-1
- 三、步驟：
 - (一)將暗箱內裝置成圖 5-1，暗箱內的燈泡採用鹵素燈。
 - (二)連接光敏電阻的三用電錶調在測量電流的位置。
 - (三)逐漸調降硝酸鎳溶液的濃度由 1.0M 至 0.0M，紀錄電流的變化。
 - (四)改變連接光敏電阻的三用電錶調在測量電壓的位置，重複步驟(二)~(三)。
 - (五)改變連接光敏電阻的三用電錶調在測量電阻的位置，重複步驟(二)~(三)。
 - (六)比較其結果。

【實驗三 比色管材質的差異與選用】

- 一、目的：探討不同的比色管對光敏電阻的影響
- 二、裝置：如圖 5-1，暗箱中裝入比色管固定支架
- 三、步驟：
 - (一)將暗箱內裝置成圖 5-1，暗箱內的燈泡採用鹵素燈，電源電壓調成 10V。

- (二)連接光敏電阻的三用電錶調在測量電流的位置。
- (三)將空的比色管放入支架當中，紀錄電流值。
- (四)將數支不同的比色管一一放入支架中，依序讀出電流值。
- (五)比較其結果。

【實驗四 比色管內溶液高度的影響】

- 一、目的：探討比色管內液體的高度對光敏電阻的影響
- 二、裝置：如圖 5-1，暗箱中裝入比色管固定支架
- 三、步驟：
 - (一)將暗箱內裝置成圖 5-1，暗箱內的燈泡採用鹵素燈，電源電壓調成 10V。
 - (二)連接光敏電阻的三用電錶調在測量電流的位置。
 - (三)將一支空的比色管放入暗箱當中，紀錄其電流值。
 - (四)在同一支比色管中依序加入 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ ，使 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 在比色管內高度為 1cm、2cm…16cm，紀錄其電流值。

【實驗五 濃度與電流的關係】

- 一、目的：我們要探討不同離子對光敏電阻的影響程度，以及不同離子在不同濃度下電流、電壓、電阻的改變
- 二、藥品： $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ 、 CoCl_2 、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$
- 三、步驟：
 - (一)將不同的離子依不同濃度進行測量。
 - (二)記錄光源在不同濃度下的電流。

【實驗六 自製濃度觀測工具在化學反應速率實驗的應用】

- 一、目的：探討硫代硫酸鈉與鹽酸的反應級數
- 二、器材：硫代硫酸鈉、鹽酸(12M)
- 三、步驟：
 - 第一部份

- (一)取 12M 鹽酸 10ml 裝入 50ml 的燒杯，為甲杯。
- (二)用錐形瓶裝入 0.2M 的硫代硫酸鈉 10ml。

(三)將甲杯溶液倒入錐形瓶中，並快速放入暗箱(圖 5-1)。

(四)紀錄光敏電阻連接數位電錶的電流值。設定每秒鐘記錄一次，直到反應結束。

(五)將錐形瓶清洗乾淨，再用同一錐形瓶重複步驟(一)到(四)的實驗，改變鹽酸濃度為 11M，硫代硫酸鈉濃度不變。

(六)依此類推再改變鹽酸濃度為 10M、9M、……、1M，記錄電流值的變化。

第二部分

(一)取 1M 硫代硫酸鈉 10ml 裝入 50ml 的燒杯，為甲杯。

(二)用錐形瓶裝入 10ml 0.05M 的鹽酸。

(三)將甲杯溶液倒入錐形瓶中，並快速放入暗箱(圖 5-1)。

(四)紀錄光敏電阻連接數位電錶的電流值。設定每秒鐘記錄一次，直到反應結束。

(五)將錐形瓶清洗乾淨再用同一錐形瓶重複步驟(一)到(四)的實驗，改變硫代硫酸鈉濃度為 0.9M，鹽酸濃度不變。

(六)依此類推再改變鹽酸濃度為 0.8M、0.7M、……、0.1M，記錄電流值的變化。



【實驗七 自製濃度觀測工具在酸鹼滴定實驗上的應用】

一、目的：由已知濃度的氫氧化鈉溶液滴定鹽酸溶液的濃度

二、器材：錐形瓶 (100ml)、特夫綸活栓玻璃滴定管 (含滴定管架, 50ml)、刮勺、玻璃漏斗、暗箱裝置

三、藥品：NaOH 溶液(約 1.2M)、HCl 溶液(約 1.2M)、鄰苯二甲酸氫鉀(KHP, 204.23g/mol, 先於 120°C 下烘乾 3~4 小時, 再置於乾燥塔中冷卻備用)、酚酞指示劑。

四、步驟：

- (一)用 KHP 標定 NaOH 溶液濃度。
- (二)另取 100ml 錐形瓶，裝入 50 ml 約 1.2M 的 HCl，並加入兩滴酚酞指示劑，放入自製暗箱固定位置，如圖 5-2。
- (三)在滴定管內裝入 50ml 的 NaOH。
- (四)將 NaOH 滴入錐形瓶中，並控制滴定管流速每 10 秒 1 滴。
- (五)利用鐵夾夾住錐形瓶，在滴定的過程中進行搖晃，紀錄滴定過程中光敏電阻電流值的變化。
- (六)由滴定曲線判斷滴定終點，並計算 HCl 濃度。

【實驗八 自製濃度測量工具在氧化還原滴定實驗上的應用】

- 一、目的：由草酸鈉標定未知濃度的過錳酸鉀溶液
- 二、藥品：過錳酸鉀溶液(0.05M)、無水草酸鈉(134.00g/mol，先於 120°C 下烘乾兩小時)、硫酸溶液、熱水(90°C 左右，或飲水機之開水)
- 三、步驟：
 - (一)利用漏斗將 0.05M 過錳酸鉀置入滴定管中，並注意勿使滴定管中殘留任何氣泡。紀錄初始刻度(估計至百分位)。
 - (二)秤取約 0.42g 草酸鈉至 mg。置入錐形瓶後，加入 50ml 蒸餾水及 10ml 硫酸溶液。
 - (三)另以 500ml 燒杯盛取熱水約 400ml；將草酸鈉溶液的錐形瓶置於其中，移動加熱約 5 分鐘。若無熱水則以酒精燈加熱之。當溫度達到約 60°C 時，取出草酸鈉溶液，趁熱以過錳酸鉀滴定。
 - (四)控制滴定管滴定速度每 10 秒 1 滴，紀錄光敏電阻的電流值變化。
 - (五)判定滴定終點，計算過錳酸鉀濃度。

【實驗九 自製濃度測量工具在平衡常數的測定實驗上的應用】

- 一、目的：測量 $\text{Fe}^{3+} + \text{SCN}^- \rightleftharpoons \text{FeSCN}^{2+}$ 的平衡常數
- 二、器材：比色管數支、25ml 的量筒數支、滴管 2 支
- 三、藥品：硝酸鐵 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 0.2M、硫氰化鉀 KSCN 0.002M
 - (一)先配製 0.2M 的硝酸鐵 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 100 ml 與 0.002M 的硫氰化鉀

KSCN 500 ml 各一瓶。

(二)分別在 1~5 號比色管內各加入 10ml 0.002M 的 KSCN。

(三)於 1 號管內再加入 10ml 0.2M 的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 作為標準溶液。

(四)另取一個 50 毫升的量筒加入 20ml 0.2M 的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 並加水稀釋至 50 毫升。

(五)用分度吸量管及安全吸球從步驟四的量筒內吸取 10ml 的溶液並加入 2 號管內。

(六)將量筒中的溶液吸出至剩下 20ml 再加水至 50ml。

(七)接著再用滴管吸取 10ml 加入 3 號內。

(八)不斷重複(五)到(六)直到五管都加滿了 20ml。

(九)開始使用傳統比色法並將數據記錄下來。

(十)用自製暗箱再做一次並紀錄數據。

註：傳統比色法

比色法的進行，是以眼睛經由比色管口直視比色管底部的光源，再以吸管慢慢吸取標準溶液到另外一支乾淨比色管中，使光線穿透狀況和標準管一樣即停止，紀錄下標準管溶液高度，再把吸走的標準液倒回原比色管中，準備下一支比色管的比色測量。每支比色都加以比對看看。

註：自製暗箱法

首先，將各管依序放入暗箱中的試管架上且開啓上方的燈光，並記錄下檢流器所顯示的電流數（因為光敏電阻對光有所謂的延遲性，所以我們利用碼錶使每一管的照光時間相等），再來換上第 2 管比色管接著用滴管吸取標準管直到電流數與第 1 管相同時即可停止，接下來記錄各管吸取後的高度。

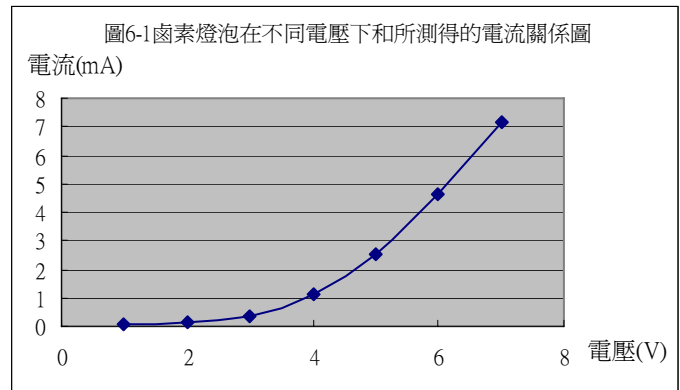


陸、研究結果

【實驗一：燈源的選擇】

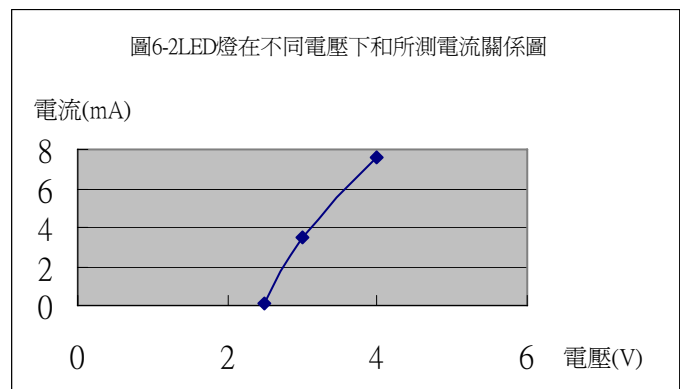
下圖 6-1 是鹵素燈泡在不同電壓下，光敏電阻所測得的電流值。

鹵素燈泡(V)	電流(mA)
1	0.09
2	0.13
3	0.36
4	1.10
5	2.53
6	4.63
7	7.13



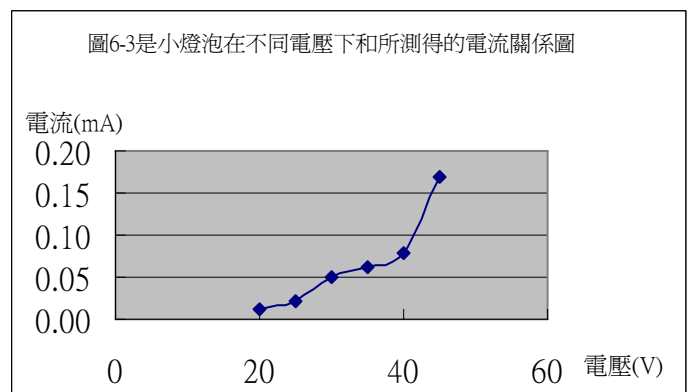
下圖 6-2 是 LED 燈在不同電壓下，光敏電阻所測得的電流值。

LED 燈 (V)	電流(mA)	電流(mA)
1	N/A	
2.5	0.06~0.1	0.08
3	3.3~3.8	3.5
4	7.5~7.6	7.6



下圖 6-3 是小燈泡在不同電壓下，光敏電阻所測得的電流值。

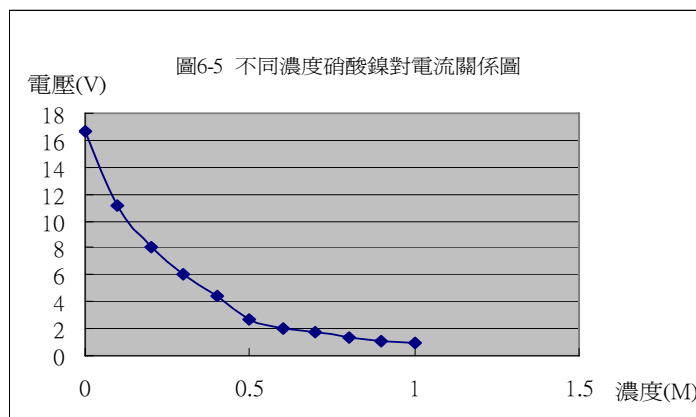
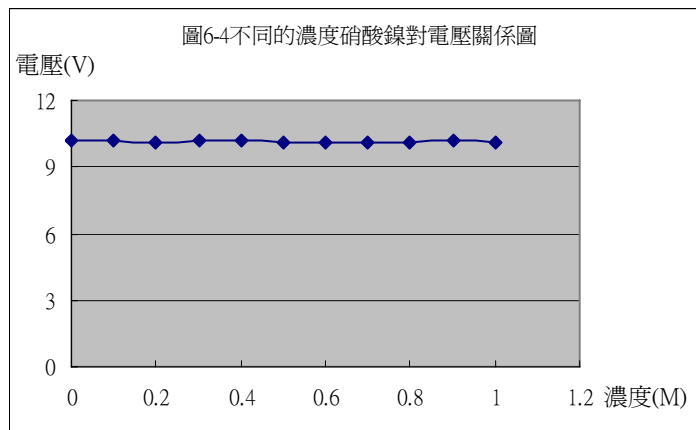
小燈泡(V)	電流(mA)
20	0.012
25	0.022
30	0.050
35	0.063
40	0.078
45	0.168



【實驗二 測量電阻、電壓或電流】

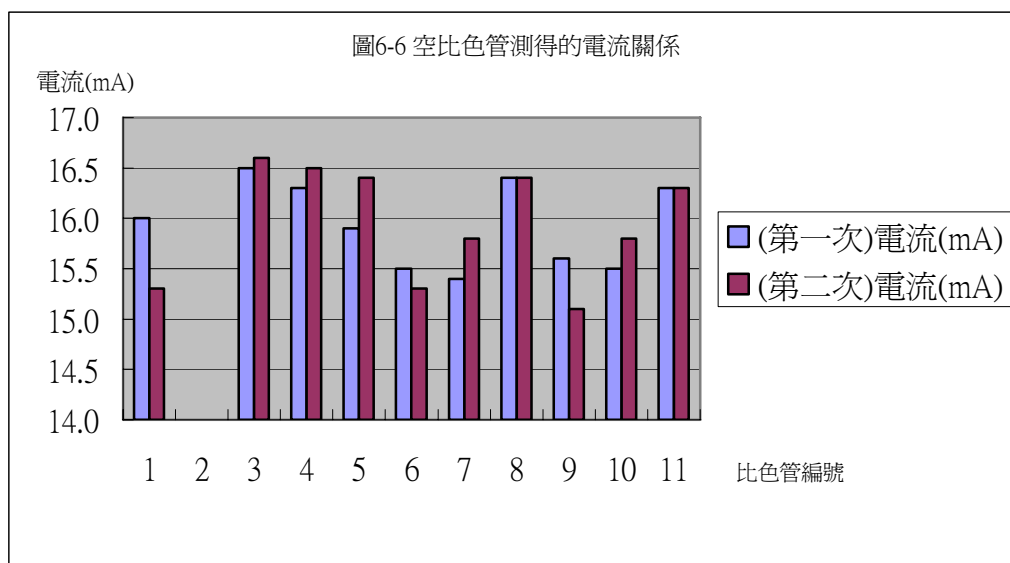
將不同的濃度的硝酸鎳，放入暗箱中，直接測量光敏電阻的電阻值、電壓值、電流值如下表，並繪製電壓-濃度關係如圖 6-4、電流-濃度關係如圖 6-5，表中「測不到」是指電阻值過大，已超過電錶的最大刻度。

Ni(NO ₃) ₂			
濃度(M)	電壓(V)	電阻	電流(mA)
1.0	10.15	測不到	1.90
0.9	10.16	測不到	2.20
0.8	10.15	測不到	2.51
0.7	10.15	測不到	2.70
0.6	10.14	測不到	3.20
0.5	10.14	測不到	4.17
0.4	10.16	測不到	4.50
0.3	10.16	測不到	5.41
0.2	10.15	測不到	6.00
0.1	10.17	測不到	7.80
0.0	10.16	5.98	16.50



【實驗三 比色管材質的差異與選用】

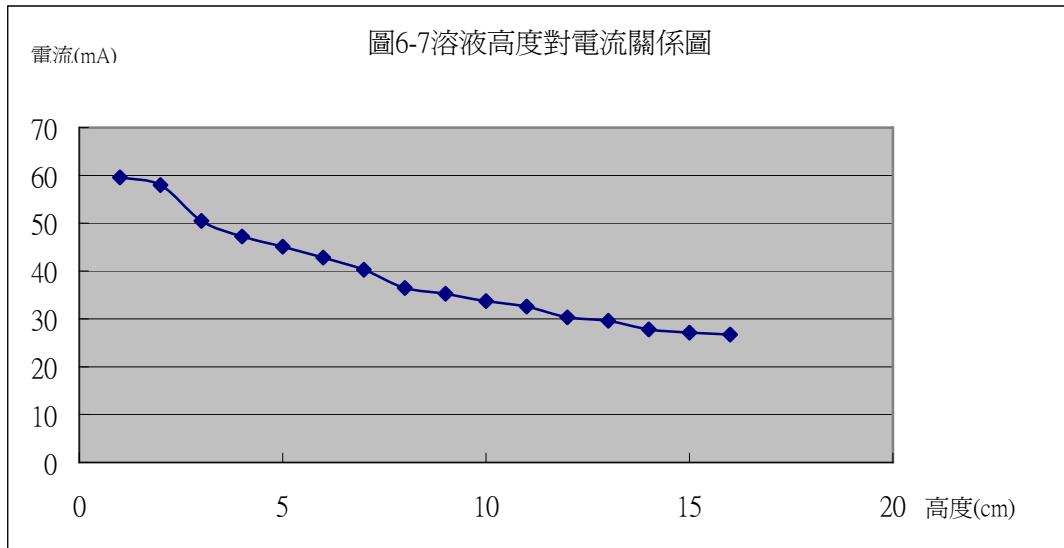
我們將 11 支比色管空管放入自製暗箱當中，測得的電流值如下圖 6-6



由圖中可知編號 3,4,8,11 等四支比色管所測得的電流值較相近，後續的實驗將使用這四支比色管來進行。第二管因為高度比其他管低，不符合暗箱尺寸，無法進行測量，將不在未來的實驗中採用。

【實驗四 比色管內溶液高度的影響】

高度(cm)	光敏電阻的電流(mA)	高度(cm)	光敏電阻的電流(mA)
1	59.6	9	35.3
2	58.0	10	33.7
3	50.5	11	32.6
4	47.2	12	30.3
5	45.1	13	29.6
6	42.8	14	27.8
7	40.3	15	27.1
8	36.5	16	26.7

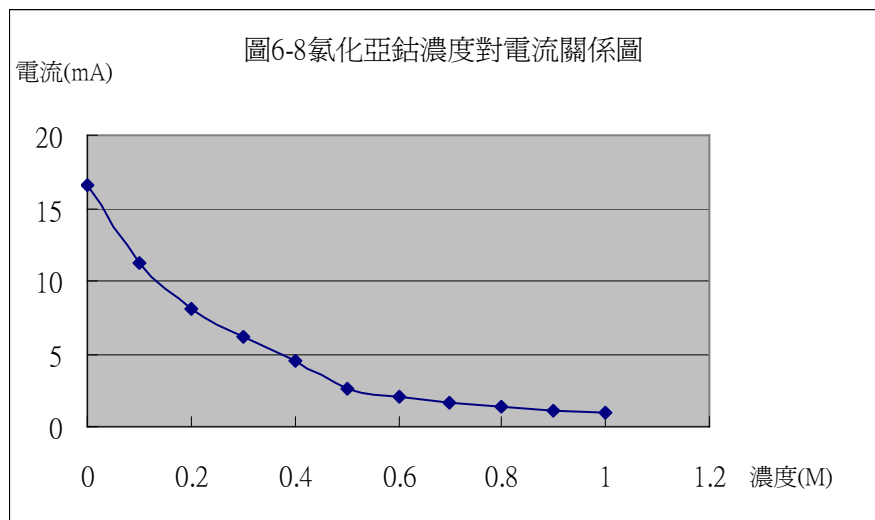


由上圖可明顯看出高度會影響光敏電阻的讀值，而且高度愈高，光敏電阻的數值也愈小。

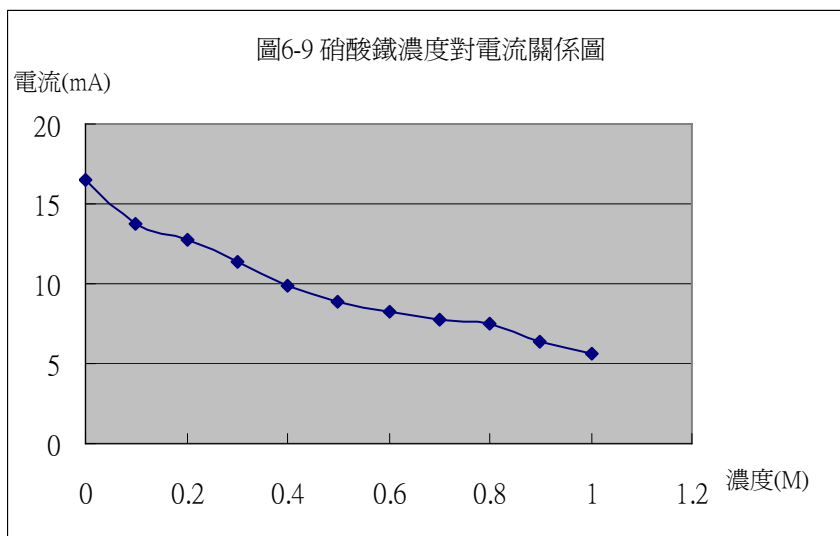
【實驗五 濃度與電流的關係】

若將不同濃度的氯化亞鈷對光敏電阻的電流作圖如 6-8，同樣的操作，測得的硝酸鐵濃度對電流作圖如 6-9，硝酸鎳濃度對電流作圖如 6-10。

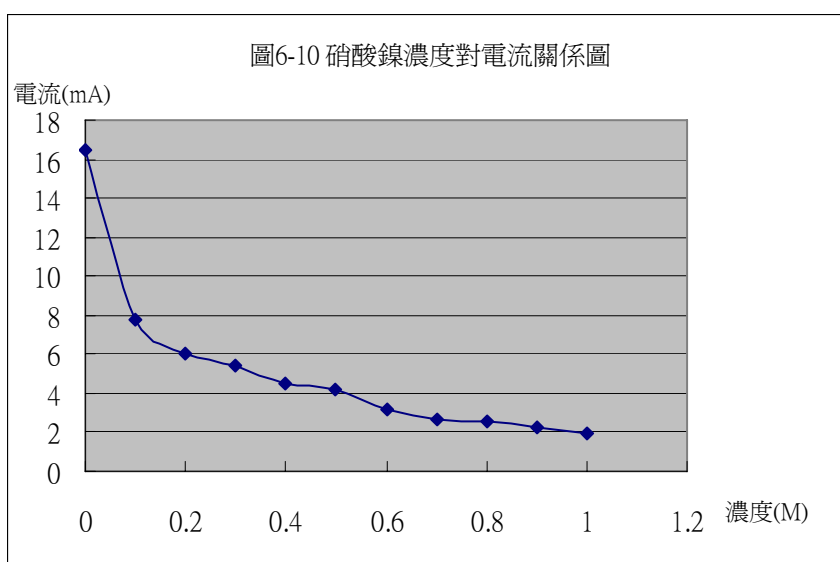
CoCl ₂	
濃度(M)	I(mA)
1.0	0.92
0.9	1.10
0.8	1.32
0.7	1.70
0.6	2.05
0.5	2.67
0.4	4.47
0.3	6.10
0.2	8.05
0.1	11.20
0.0	16.60



Fe(NO ₃) ₃	
濃度(M)	I(mA)
1.0	5.61
0.9	6.42
0.8	7.51
0.7	7.75
0.6	8.23
0.5	8.91
0.4	9.93
0.3	11.32
0.2	12.80
0.1	13.70
0.0	16.50

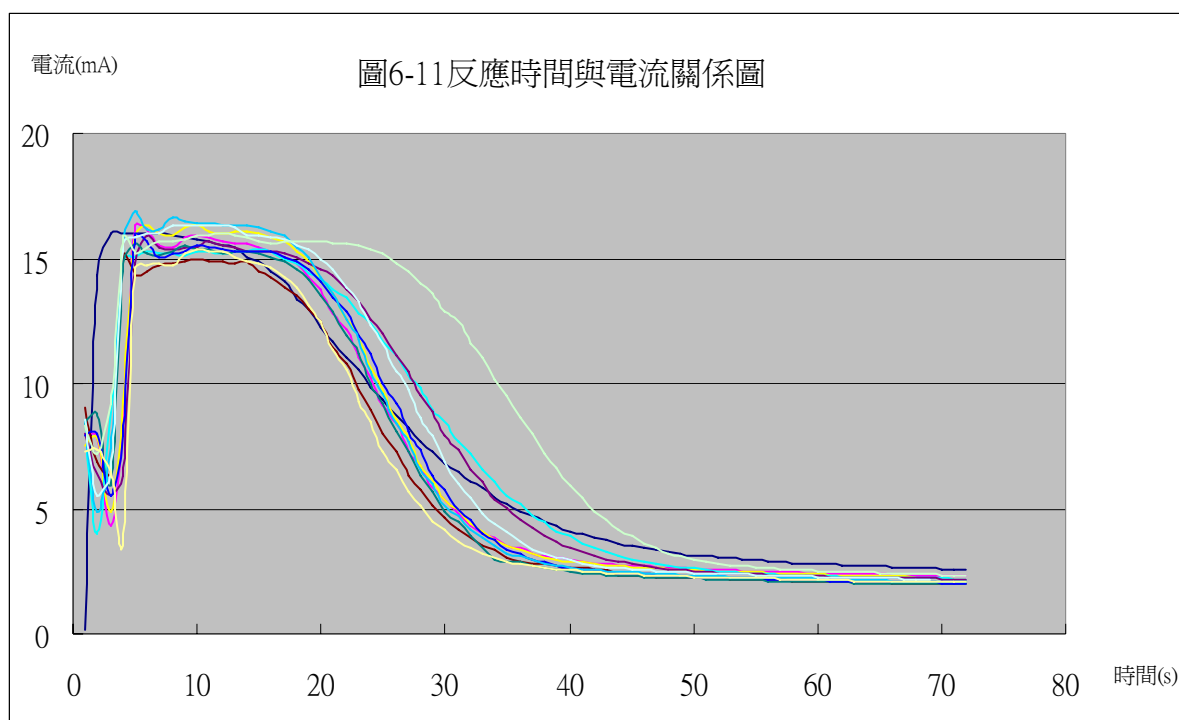


Ni(NO ₃) ₂	
濃度(M)	I(mA)
1.0	1.90
0.9	2.20
0.8	2.51
0.7	2.70
0.6	3.20
0.5	4.17
0.4	4.50
0.3	5.41
0.2	6.00
0.1	7.80
0.0	16.50

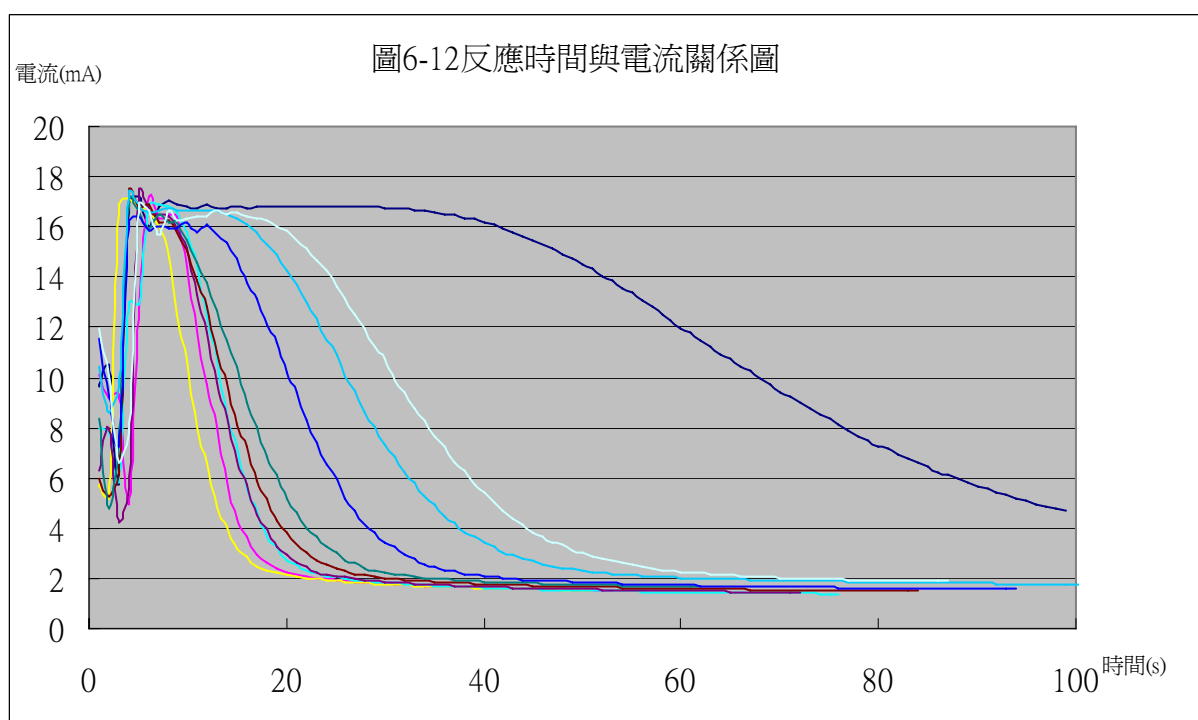


【實驗六 自製濃度測量工具在化學反應速率實驗上的應用】

第一部份 取硫代硫酸鈉(0.2M)分別與不同濃度的 HCl(1M~12M)反應，測量其電流隨時間的變化，12 次實驗的結果繪製如圖 6-11。



第二部份 取 HCl(0.05M)與不同濃度的硫代硫酸鈉(1M~0.1M)反應，反應時間與電流關係如圖 6-12。



【實驗七 自製濃度測量工具在酸鹼滴定實驗上的應用】

一、標定氫氧化鈉

取 KHP(鄰苯二鉀酸氫鉀)克數：5.0211 克

使用氫氧化鈉滴定量：16.30 毫升

計算得氫氧化鈉濃度：1.5100 M

$$5.021 \div 204 = C_M \times 16.3 \div 1000 \quad C_M = 1.5100$$

二、以氫氧化鈉滴定 HCl(傳統方法)

使用鹽酸體積：50.0 毫升

使用氫氧化鈉體積：38.0 毫升

計算鹽酸濃度：1.1476 M(正確為 1.2M)

誤差率：4.4%

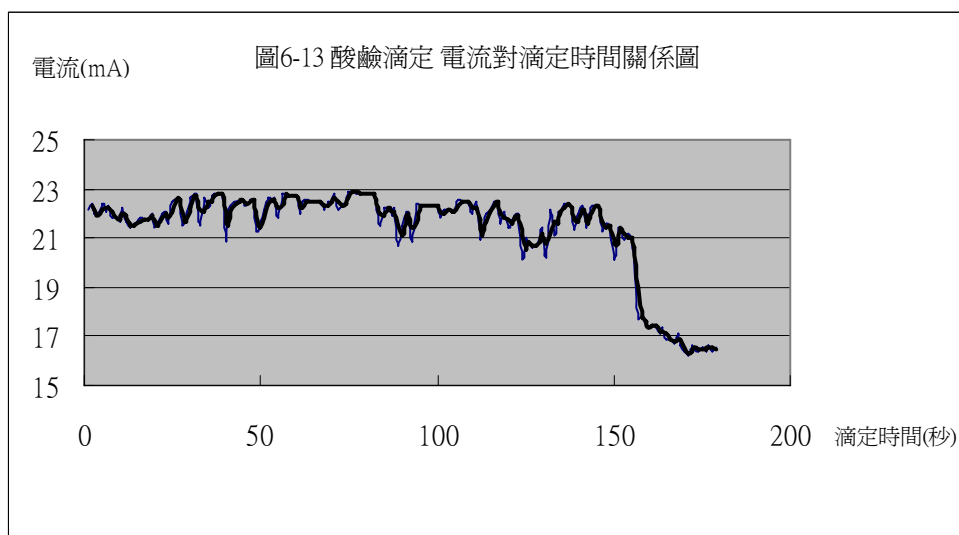
三、以氫氧化鈉滴定 HCl(暗箱方法)

使用鹽酸體積：50.0 毫升

使用氫氧化鈉體積：38.2 毫升

計算鹽酸濃度：1.1536 M(正確為 1.2M)

誤差率：3.86%



【實驗八 自製濃度測量工具在氧化還原滴定實驗上的應用】

配製草酸鈉溶液濃度 0.0521M(當作未知溶液)

配製過錳酸鉀溶液濃度 0.0500M (當作標準液)

一、傳統氧化還原滴定法

取草酸鈉溶液 60.0 毫升

滴定用去過錳酸鉀溶液 27.0 毫升

計算得到草酸鈉濃度 0.05625 M ($C_M \times 60 \times 2 = 0.05 \times 27 \times 5$)

誤差率：7.97 %

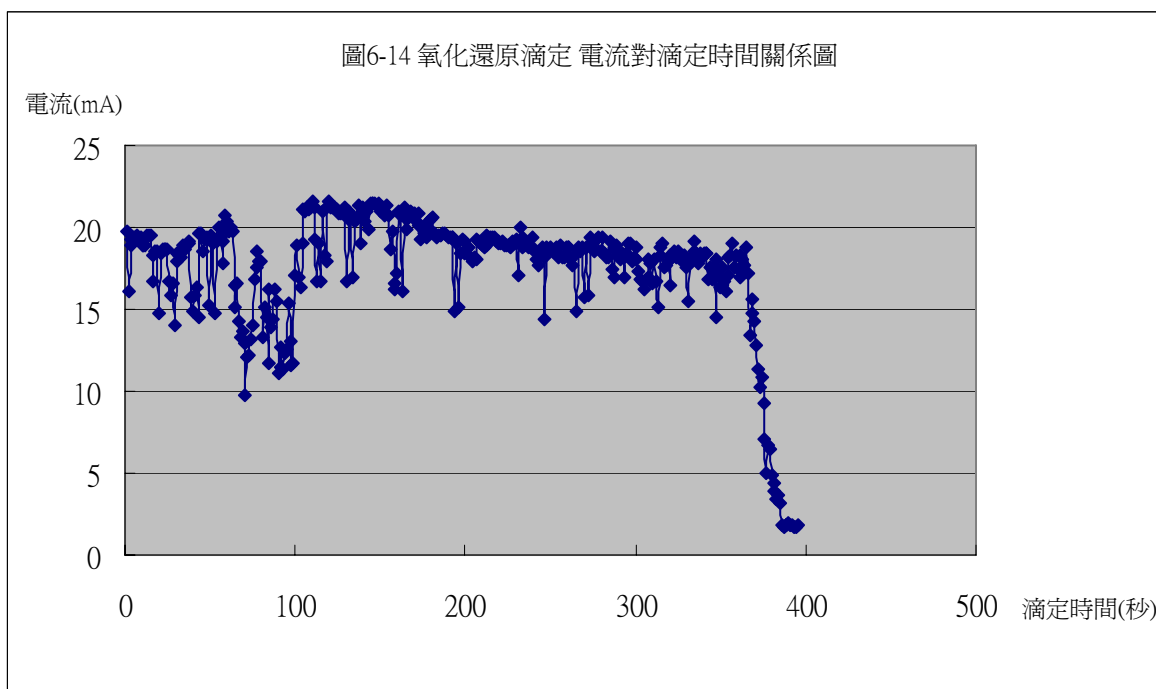
二、使用暗箱氧化還原滴定法

取草酸鈉溶液 60.0 毫升

滴定用去過錳酸鉀溶液 26.9 毫升

計算得到草酸鈉濃度 0.05604 M ($C_M \times 60 \times 2 = 0.05 \times 26.9 \times 5$)

誤差率：7.36 %



【實驗九 自製濃度測量工具在平衡常數的測定實驗上的應用】

一、以自製暗箱測得平衡常數的結果

編號	溶液高度(cm)	標準溶液高度(cm)	電壓(v)	電流(mA)	標準溶液高度/溶液高度
1	6.5	6.5	10	2.4	-
2	6.5	4.8	10	3.4	0.738
3	6.5	2.6	10	4.2	0.400
4	6.5	1.8	10	4.7	0.277
5	6.5	0.7	10	5.8	0.108

編號	初濃度(M)		平衡時的濃度(M)			平衡常數 K
	【Fe ³⁺ 】	【SCN ⁻ 】	【FeSCN ²⁺ 】	【Fe ³⁺ 】	【SCN ⁻ 】	
1	1.0*10 ⁻¹	1.0*10 ⁻³	1.00*10 ⁻³	9.90*10 ⁻²	0.00*10 ⁰	N/A
2	4.0*10 ⁻²	1.0*10 ⁻³	7.38*10 ⁻⁴	3.93*10 ⁻²	2.72*10 ⁻⁴	72
3	1.6*10 ⁻²	1.0*10 ⁻³	4.00*10 ⁻⁴	1.56*10 ⁻²	6.00*10 ⁻⁴	43
4	6.4*10 ⁻³	1.0*10 ⁻³	2.77*10 ⁻⁴	6.12*10 ⁻³	7.23*10 ⁻⁴	63
5	2.6*10 ⁻³	1.0*10 ⁻³	1.08*10 ⁻⁴	2.45*10 ⁻³	8.92*10 ⁻⁴	49

標準差：13.17 平衡常數平均值：57

二、以傳統比色法的實驗結果(依龍騰版實驗課本的實驗結果)

編號	溶液高度(cm)	標準溶液高度(cm)	標準溶液高度/溶液高度
1	6.6	6.6	1.000
2	6.6	5.6	0.848
3	6.6	5.2	0.788
4	6.6	3.4	0.515
5	6.6	2.0	0.303

編號	初濃度(M)		平衡時的濃度(M)			平衡常數 K
	【Fe ³⁺ 】	【SCN ⁻ 】	【FeSCN ²⁺ 】	【Fe ³⁺ 】	【SCN ⁻ 】	
1	1.0*10 ⁻¹	1.0*10 ⁻³	1.00*10 ⁻³	9.90*10 ⁻²	0.00*10 ⁰	N/A
2	4.0*10 ⁻²	1.0*10 ⁻³	8.48*10 ⁻⁴	3.92*10 ⁻²	1.52*10 ⁻⁴	66.5
3	1.6*10 ⁻²	1.0*10 ⁻³	7.88*10 ⁻⁴	1.52*10 ⁻²	2.12*10 ⁻⁴	245
4	6.4*10 ⁻³	1.0*10 ⁻³	5.15*10 ⁻⁴	5.89*10 ⁻³	4.85*10 ⁻⁴	180
5	2.6*10 ⁻³	1.0*10 ⁻³	3.03*10 ⁻⁴	2.26*10 ⁻³	6.97*10 ⁻⁴	192

標準差：75.09 平衡常數平均值：170

柒、討 論

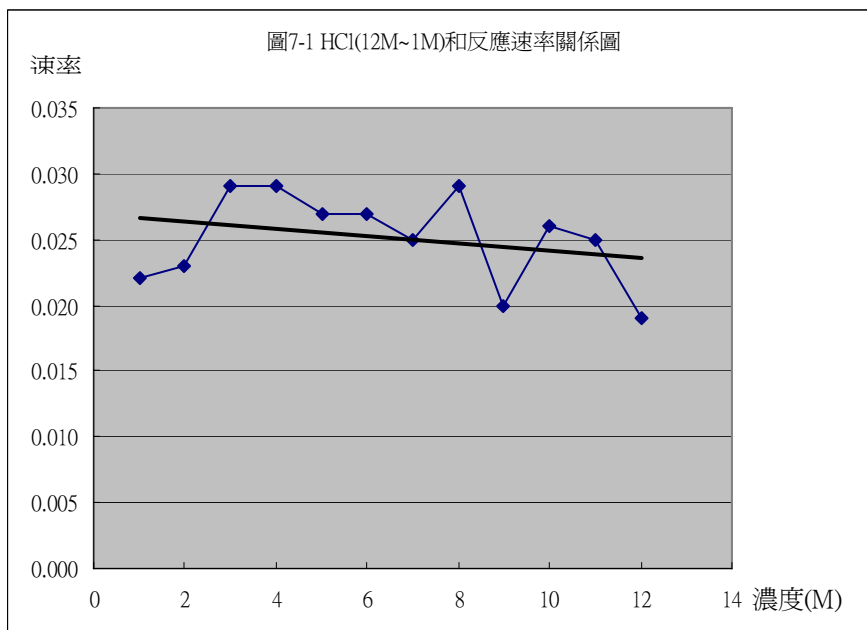
- (一)在實驗一燈源的選擇中，我們使用鹵素燈、LED 燈及白熾燈泡當做光源，改變不同電壓，測量光敏電阻迴路電流，結果如圖 6-1、6-2、6-3。由這個結果可知，LED 燈在低電壓時(2.5 伏特以下)，並沒有電流產生，若電壓高過 5 伏特以上，LED 燈很容易燒壞，而且當電壓固定不變的時候，所測得的電流值竟然會跳動，表示 LED 燈所發的光並不是固定強度的光。白熾小燈泡的電壓需要加到相當高的電壓，才產生 0~0.2mA 的電流，而鹵素燈不論高低電壓，均有電流產生，而且電壓與電流之間有特殊的曲線關係(如圖 6-1)，因此，本研究決定採用鹵素燈當作燈源。
- (二)實驗二分別測量不同濃度的硝酸鎳的電流、電壓與電阻的結果，可以發現電阻與電壓隨濃度的變化極少，只有電流會有規則性的變化。當濃度愈小時，溶液顏色愈淡，光敏電阻受光照程度較大，因此電流大；反之，當濃度大時，電流小，但是並非線性關係，因此我們在本自製濃度測量工具的研究中，以電流當作判定各項實驗結果的依據。
- (三)實驗三測量空管的電流值，發現每一支比色管空管的電流值並不相同，探究其原因，可以推測每一支空管底部的玻璃厚度並不相同，因此透光程度並不同，使得光敏電阻受光照程度不同，因此本研究使用的比色管為編號 3、4、8、11 等四支比色管，主要是因為這四支比色管的空管電流值都落在 16.2~16.6mA 之間，誤差較小，且重複測量的變動率較低。
- (四)實驗四測量比色管中不同高度溶液的電流值，結果發現溶液的高度愈高，透光度愈差，光敏電阻迴路的電流愈小，與一般我們所想像的水溶液高度愈高，電流會愈小的預期相同(因為溶液愈多，遮住的光線愈多)。探究其原因，可能是因為含有色離子溶液的高度增加，吸收的光線變多，所以導致電流下降。
- (五)實驗五分別測量三種有色溶液的濃度與電流的關係，結果發現 CoCl_2 、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ 的濃度與電流均有特別的關係，其相似的地方在於濃度愈大電流愈小，而且呈現類似反比的曲線關係，但是每一種溶液因為顏色與性質不同，所以曲線的形狀並不完全相同。從這個關係中，我們可以使用電流來推測溶液的濃度，並應用在各種不同的實驗中。在定性的應用當中，我們可以測量溶液濃度與電流的關係，當溶液濃度發生劇烈改變時，電流值會出現明顯的不同，讓我們做出準確地判斷。在定量的應用方面，由電流與濃度的特別關係圖(如圖 6-8)，我們可以測定某一未知濃度溶液的電流，並依圖形判讀該溶液的濃度，更精

準方便的測量濃度。

(六)使用自製濃度測量工具進行秒錶反應實驗，因為硫代硫酸鈉與鹽酸反應方程式如下：

$S_2O_3^{2-} + 2H^+ \rightarrow S + SO_2 + H_2O$ ，這個實驗主要在測量當硫沉澱量達到某一定值所經過的時間。課本的作法是利用錐形瓶下面放一張白紙，白紙畫上一個十字型，用肉眼從上方往錐形瓶內望去，看不到十字型的瞬間，反應即完成。可是這個實驗因為人眼的感覺不同，常常會有很大誤差。若使用本實驗自製濃度測量裝置，我們測量光敏電阻的電流值。當硫未產生前，溶液是透明的，所以電流值很大，可是隨著硫的生成，電流值並沒有明顯下降，直到硫固體產生某一定量時，電流會瞬間變小(如圖 6-10)。本研究設定在當電流降至 3mA 反應即完成。因為此時產生的硫固體應該一樣多，取時間的倒數可以當作是速率，可得鹽酸與速率的關係，如下表，並繪出不同的鹽酸濃度對反應速率做圖如 7-1。可以明顯看出鹽酸濃度的多寡並不會影響反應速率的快慢，也就是說速率對鹽酸的濃度呈零級反應。

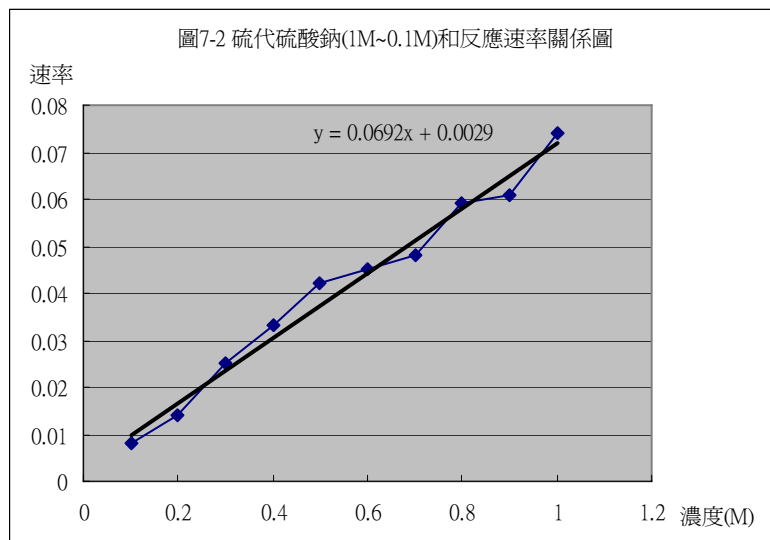
鹽酸濃度	反應速率
12	0.019
11	0.025
10	0.026
9	0.020
8	0.029
7	0.025
6	0.027
5	0.027
4	0.029
3	0.029
2	0.023
1	0.022



(七)實驗六的第二部份，改變不同的硫代硫酸鈉濃度，但是固定鹽酸的濃度，觀察反應過程中電流的變化，如同討論(六)所述，電流達到某一定時間才會急遽下降，此時產生硫固體的量應該是一定的。本實驗測定電流下降至 3mA 所經過的時間。下表為硫代硫酸鈉濃度與反應速率的關係，並繪製成圖 7-2。從圖中可以明顯看出硫代硫酸鈉濃度與反應速率明顯呈現斜直線的正比關係，因此為一級反應。故硫代硫酸鈉與鹽酸的化學反應速率

定律式應寫為 $\text{Rate} = k[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]$ ，與預期的實驗結果相符。

M	速率
1.0	0.074
0.9	0.061
0.8	0.059
0.7	0.048
0.6	0.045
0.5	0.042
0.4	0.033
0.3	0.025
0.2	0.014
0.1	0.008



(八)實驗七使用氫氧化鈉標準液滴定未知濃度的鹽酸溶液，以酚酞當作指示劑，觀察滴定過程中電流的變化，發現滴定過程中電流上下震盪，主要是因為當氫氧化鈉滴入溶液中瞬間會呈現鹼性的紅色，但是攪拌後又變回為無色，因此電流會上下震盪。當溶液達到滴定終點，完全變為紅色時，電流值會迅速下降，如圖 6-13。我們可由電流瞬間下降判斷出滴定終點，輕易得知所滴入的氫氧化鈉體積。從實驗結果可知，傳統的手動滴定實驗，需要滴加 38 毫升的氫氧化鈉，自製暗箱實驗需要滴加 38.2 毫升，結果並沒有顯著不同，誤差率也沒有明顯減少。但是使用暗箱實驗可以利用電腦監測滴定過程，實驗者不用時時守在旁邊，而且是從滴定圖形判斷終點，就算機器滴定過量也沒有關係。因此暗箱實驗提供另一種方便的滴定技術，使得實驗者可以更明確判讀滴定終點。此外，因為滴定終點電流值會有明顯變化，這個結果可以輸出當作一個訊號，作為設計自動滴定計的重要原理，這部份是本研究的延伸計畫之一。

(九)實驗八使用已知濃度的過錳酸鉀，滴定未知濃度的草酸鈉溶液，紀錄滴定過程的電流變化。從圖 6-14 可以得知滴定過程中電流上下震盪，主要是因為過錳酸鉀滴入溶液瞬間呈現紫紅色，經過攪拌後，顏色消失，因此電流會上下震盪。當達到滴定終點，過錳酸鉀顏色不再褪去時，電流會迅速下降，此時即為滴定終點。從實驗結果中可以發現，傳統手動滴定需要過錳酸鉀 27 毫升，暗箱實驗需要 26.9 毫升，並沒有顯著不同，誤差率也沒有明顯降低。如同討論(八)所述，暗箱實驗提供另一種方便的滴定技術，使得實驗者可以更明確判讀滴定終點。

(十)課本中傳統的平衡常數測定實驗，是用比色管以肉眼判斷顏色的深淺，但是肉眼辨色能力不同可能導致每次結果都不同。實驗十提供一個有效的改進方法，使用光敏電阻所偵測的電流值，我們調整溶液的高度一直到標準液與待測液電流值相等為止。以機器取代肉眼觀察，結果更準確。研究者依龍騰課本的實驗步驟進行實驗，所得四次平衡常數值分別為 66、245、180、192(平均值 170)，以暗箱進行實驗得到的結果分別為 72、43、62、49(平均值 57)。從這個結果可以發現課本以肉眼判讀的實驗數值標準偏差明顯大很多，因此在平衡常數的測定上，暗箱是個方便有效觀測濃度的工具。

捌、結 論

- (一)使用光敏電阻、自製暗箱、三用電錶及電源供應器等製作的濃度觀測暗箱可以有效的觀測溶液的濃度，而且這個暗箱當中若使用鹵素燈泡會比白熾燈泡或 LED 燈泡效果好；使用此裝置觀測電流可以明顯看出溶液濃度的變化。並有效的應用在秒錶反應實驗、酸鹼滴定實驗、氧化還原滴定實驗、平衡常數測定的實驗中。
- (二)在硫代硫酸鈉與鹽酸反應的秒錶反應中($S_2O_3^{2-} + 2H^+ \rightarrow S + SO_2 + H_2O$)，因為硫沉澱，使溶液的透光度變差，若使用肉眼觀察，不易正確判斷出反應結束的時間，使用自製暗箱觀測溶液的電流變化，當硫沉澱至某一定量時，電流曲線會明顯突然下降，因此可以輕易的判斷出反應結束的時刻，方便又有效。從實驗結果可以明確得知此反應的反應速率對硫代硫酸鈉濃度為一級反應，對鹽酸濃度為零級反應。
- (三)使用自製暗箱觀測酸鹼滴定與氧化還原滴定时濃度的變化，均可紀錄電流隨時間的變化，將滴定過程溶液的電流變化明顯記錄下來。當達到滴定終點時，電流曲線會有明顯的變化，用此時滴入的體積去推算未知溶液的濃度。從本研究結果可以證明觀測暗箱與傳統實驗結果並沒有明顯不同，但是暗箱實驗可以利用電腦自動記錄，從圖形判讀滴定終點的方式，不需擔心滴定過量的問題。此外，輸出電流訊號的明顯變化可以進一步設計自動滴定計，這將是本研究的延伸實驗之一，日後繼續做探討。
- (四)在平衡常數的測定上，傳統的實驗都是利用肉眼觀察溶液的顏色深淺，造成每次實驗結果的差距非常大。使用本觀測暗箱，測量標準液與待測溶液觀測到的電流值，調整標準液的高度至相同電流值，因為是由電錶判讀電流值，因此每一次的測量都非常準確，再依濃度與高度成反比的原理，推算待測液的濃度。從實驗結果可知，比起傳統的比色法，自製暗箱的作法明顯縮小每次實驗結果的差異，而實驗結果也更為精確。

玖、參考資料及其他

一、參考資料：

- (一) 曹添貴、曾竑維。延長光敏靈發光時間的研究。台北市第三十八屆科展作品(優等)。
- (二) 高中物質科學化學篇實驗手冊上、下(民國 94 年版)。臺北市：龍騰圖書公司。
- (三) 高中選修化學實驗手冊上、下(民國 94 年版)。臺北市：龍騰圖書公司。

二、其他應用：

- (一) 光敏電阻暗箱觀測電流或電壓的方法，可以用來觀測任何由肉眼判斷的化學反應，例如濃度的深淺、沉澱產生等，而且在一般的高中實驗室就可以測量，過程方便簡單，原理也很容易明瞭。
- (二) 觀測滴定反應時，在達到滴定終點時，輸出的電流值會有劇烈的改變，這種輸出電流的訊號，經過放大後可以設計成自動滴定控制開關。例如當達到滴定終點時，電流瞬間變小時，滴定開關便關閉滴定管，滴定過程立即中止，這是一種自動滴定計的應用。

三、研究心得與收穫：

我們在這次的研究當中學到了許多知識，如光敏電阻的特性與原理、秒錶反應的原理、酸鹼中和、氧化還原以及化學平衡，還能夠將許多高中化學實驗做過一遍，並清楚明瞭其中的原理，尤其是懂得如何做研究。雖然研究過程有點辛苦，但是我們都能團結分工合作，遇到困難時互相幫助，一起克服困難，往後的研究還在等著我們，我們會努力不懈的研究發展下去，感謝老師的支持與協助，最後也希望我們能夠有好的成果。

評 語

040211 自製濃度觀測工具及其在高中化學實驗的應用

學生能利用電器及電子零件取材容易的現代生活常用品組

裝測量光度工具，進行高中教材內容研討，但是希望同學能

將它進一步詳細研討測量裝置的精確度及開架觀測的可行

性。